



Dealer  
GE Healthcare

***Lunar DXA** from GE Healthcare enable help understand the body composition of athletes and determine how diet, lifestyle and exercise programs impact overall health and human performance*



- Bone Densitometry
- X-Ray
- Mammogram
- Ultrasound
- Transcranial Doppler (TCD)

- Transcranial Magneticstimulation (TMS)
- Transcranial Magneticstimulation (TMS) Navigation
- Electroencephalography (EEG)
- Electromyography (EMG)
- EKOS Acoustic Pulse Thrombolysis™ Treatment

แผนกเครื่องมือแพทย์  
**Getz Healthcare**

A division of Louis T. Leonowens (Thailand) Ltd.  
Tel. 02-206-9500 Fax. 02-237-7047  
[www.th.getzhealthcare.com](http://www.th.getzhealthcare.com)



## THE COMPARISON OF OXYGEN CONSUMPTION BETWEEN SPOT MARCHING EXERCISE TESTING WITH AND WITHOUT ARM SWING

Taweewat WIANGKHAM<sup>1</sup>, Chaves KHATKHAMWONG<sup>1</sup>, Norasit CHIMSUD<sup>1</sup>,  
Monthira POSUWAN<sup>1</sup>, Saranchana SATHUPAK<sup>1</sup>, Chulee JONES<sup>2</sup> and Weerapong CHIDNOK<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>*Exercise and Rehabilitation Sciences Research Unit, Department of Physical Therapy,  
Faculty of Allied Health Sciences, Naresuan University, Meaung, Phitsanulok THAILAND 65000*

<sup>2</sup>*School of Physical Therapy, Faculty of Associated Medical Sciences, Khon Kaen University,  
Meaung Khon Kaen, Khon Kaen, THAILAND 40002*

### ABSTRACT

**Objective:** The purpose of this study was to compare the oxygen consumption between the Spot marching exercise testing with and without arm swing. **Methods:** Quantitative Research and balance randomized crossover design. Eleven healthy males (BMI =  $22.4 \pm 1.2 \text{ kg.m}^{-2}$ ; age 20-25 years) were recruited to participate in this study. All participants were randomized by a computer-generated randomization sequence to complete one of two exercise tests first (the Spot marching exercise testing with arm swing and the Spot marching exercise testing without arm swing) and then followed by another test. The testing interval between the tests was at least 24 hours. Oxygen consumption was measured for each exercise testing for 6 minutes using gas analyzer (Cortex Biophysik, Metalyzer). Data were analyzed using paired t-test. Statistical significance was accepted when P-value < 0.05. **Results:** The results show the total oxygen consumption ( $787.7 \pm 108.9 \text{ L}$ ) and end-exercise oxygen consumption ( $2.43 \pm 0.09 \text{ L.min}^{-2}$ ) in the Spot marching exercise testing with arm swing were significantly higher than the Spot marching exercise testing without arm swing (total oxygen consumption =  $717.6 \pm 94.9 \text{ L}$  and end-exercise oxygen consumption =  $2.29 \pm 0.09 \text{ L.min}^{-2}$ ) (P = 0.001 and 0.019, respectively). **Conclusions:** This study revealed that the oxygen consumption in the Spot marching exercise testing with arm swing was higher than the Spot marching exercise testing without arm swing.

Journal of Sports Science and Technology 2018; 18(1): 16-26

**Keywords:** Oxygen consumption / Exercise / Spot marching exercise testing

\*Corresponding Author: Weerapong CHIDNOK,

Exercise and Rehabilitation Sciences Research Unit, Department of Physiotherapy, Faculty of  
Allied Health Sciences, Naresuan University, Meaung, Phitsanulok, THAILAND 40002

E-mail weerapongch@nu.ac.th

## การเปรียบเทียบอัตราการใช้ออกซิเจนระหว่างการทดสอบการออกกำลังกายแบบแกว่งแขนย่ำเท้า อยู่กับที่และไม่แกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่

ทวีวัฒน์ เวียงคำ<sup>1</sup>, ชวิศ ชัดคำวงศ์<sup>1</sup>, นรศิษฐ์ จิมสุต<sup>1</sup>, มณฑิรา โพธิ์สุวรรณ<sup>1</sup>, สรลชนา สาธภาค<sup>1</sup>,  
ชูลี โจนส์<sup>2</sup> และ วีระพงษ์ ชิดนอก<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>หน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการฟื้นฟู ภาควิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์

มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ประเทศไทย 65000

<sup>2</sup>สายวิชากายภาพบำบัด คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย 40002

### บทคัดย่อ

**วัตถุประสงค์:** เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าอัตราการใช้ออกซิเจนระหว่างการทดสอบการออกกำลังกายแบบแกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่และไม่แกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่ **วิธีดำเนินการวิจัย:** การวิจัยเชิงปริมาณ แบบสุ่มไขว้ อาสาสมัครเพศชายสุขภาพดี (ค่าดัชนีมวลกายเฉลี่ย  $22.4 \pm 1.2$  กิโลกรัมต่อตารางเมตร) อายุ 20-25 ปี จำนวน 11 คน อาสาสมัครทั้งหมดได้รับการทดสอบการออกกำลังกายด้วยการแกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่และไม่แกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่ โดยการสุ่มคอมพิวเตอร์เรียงลำดับก่อนหลัง อาสาสมัครทั้งหมดถูกวัดอัตราการใช้ออกซิเจนขณะการทดสอบออกกำลังกายเป็นระยะเวลา 6 นาที ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซผ่านทางลมหายใจ ทำการทดสอบห่างกันอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ข้อมูลทั้งหมดถูกวิเคราะห์ด้วยสถิติเทียบรายคู่ (Paired t-test) กำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 **ผลการวิจัย:** การทดสอบออกกำลังกายด้วยการแกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่มีค่าผลรวมอัตราการใช้ออกซิเจน ( $787.7 \pm 108.9$  ลิตร) และอัตราการใช้ออกซิเจนช่วงสุดท้ายของการทดสอบ ( $2.43 \pm 0.09$  ลิตรต่อนาที) มากกว่าการทดสอบการออกกำลังกายด้วยการไม่แกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่ (ค่าผลรวมอัตราการใช้ออกซิเจน เท่ากับ  $717.6 \pm 94.9$  ลิตร และอัตราการใช้ออกซิเจนช่วงสุดท้ายของการทดสอบ เท่ากับ  $2.29 \pm 0.09$  ลิตรต่อนาที) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P = 0.001$  และ  $0.019$  ตามลำดับ) **สรุปผล:** การทดสอบการออกกำลังกายแบบแกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่มีอัตราการใช้ออกซิเจนมากกว่าการทดสอบออกกำลังกายแบบไม่แกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา 2561; 18(1) : 16-26

**คำสำคัญ:** อัตราการใช้ออกซิเจน / การออกกำลังกาย / การทดสอบออกกำลังกายแกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่

## บทนำ

อัตราการใช้ออกซิเจน (Oxygen Consumption:  $VO_2$ ) หมายถึงความสามารถของร่างกายในการเผาผลาญพลังงานโดยใช้ออกซิเจน มีความสำคัญต่อความสามารถในการออกกำลังกายหรือทำกิจกรรมต่างๆ ให้ได้อย่างต่อเนื่องและยาวนาน<sup>1</sup> โดยปกติค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal Oxygen Consumption:  $VO_{2max}$ ) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถของระบบทางเดินหายใจและหัวใจ สามารถวัดได้ด้วยการทดสอบออกกำลังกายด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ การทดสอบด้วยเครื่องวิ่งลูกลไฟฟ้า<sup>2</sup> หรือการทดสอบด้วยจักรยาน<sup>3</sup> เป็นต้น การทดสอบการออกกำลังกายของรายบุคคล แบ่งออกเป็น การทดสอบด้วยแขนและขา โดยที่การทดสอบการออกกำลังกายด้วยจักรยานปั่นมือ (Arm ergometer test) เป็นรูปแบบการทดสอบการออกกำลังกายของรายบุคคลส่วนบนที่พบได้มากที่สุด จากรายงานการวิจัยพบว่าการทดสอบนี้มีความน่าเชื่อถือและสามารถกระตุ้นการตอบสนองทางสรีรวิทยาได้<sup>4</sup> และเป็นทางเลือกสำหรับผู้ที่ไม่สามารถขี่ขาในการออกกำลังกายได้<sup>5</sup> เช่น ผู้ป่วยอัมพาตครึ่งท่อนล่างหรือผู้ป่วยที่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับกระดูก เป็นต้น<sup>6</sup> จากการศึกษาพบว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราการใช้ออกซิเจนในขณะทำการทดสอบและหลังการทดสอบด้วยจักรยานปั่นมือ<sup>7</sup> ส่วนการทดสอบด้วยการปั่นจักรยานวัดงาน (Leg ergometer test) เป็นรูปแบบการทดสอบการออกกำลังกายที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในทางคลินิก<sup>5</sup> ลักษณะคล้ายกับการปั่นจักรยานทั่วไป<sup>8</sup> มีข้อดี คือ ราคาถูก ใช้พื้นที่ในการทดสอบน้อย และมีความมั่นคงระหว่างการทำทดสอบ เนื่องจากมีการเคลื่อนไหวของแขนและลำตัวน้อย<sup>4</sup> จากการศึกษาพบว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราการใช้ออกซิเจนในขณะทำการทดสอบและหลังการทดสอบการออกกำลังกายด้วยจักรยานวัดงาน<sup>8</sup> เมื่อเปรียบเทียบการตอบสนองของอัตราการใช้ออกซิเจนระหว่างการทดสอบการออกกำลังกายด้วยจักรยานปั่นมือและจักรยานวัดงานที่ระดับความหนักต่ำกว่าสูงสุด (Submaximal exercise) พบว่า การออกกำลังกายด้วยจักรยานปั่นมือมีอัตราการใช้ออกซิเจนมากกว่าการทดสอบจักรยานวัดงานโดยใช้ขาปั่น ทั้งนี้เนื่องจากในการทดสอบการออกกำลังกายของแขน มีการหดตัวของกล้ามเนื้อลำตัวและขาเพื่อคงท่าทางขณะปั่นแขนจึงทำให้อัตราการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น<sup>3</sup>

ล่าสุด มีการพัฒนารูปแบบการทดสอบการออกกำลังกายแบบแกว่งแขนย่อเท้าอยู่กับที่ ซึ่งเป็นการทดสอบการออกกำลังกายเพื่อประเมินความทนทานของระบบหายใจและหัวใจที่ประยุกต์มาจากการออกกำลังกายของแขนและขา โดยกำหนดให้ยกไหล่ยกสูงประมาณ 90 องศาขึ้นไปพร้อมกับงอสะโพกประมาณ 70 องศา ทำสลับข้างอย่างต่อเนื่องอยู่กับที่ด้วยความเร็วที่เหมาะสมกับระดับความสามารถของแต่ละบุคคล อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีข้อมูลทางสรีรวิทยาที่สามารถนำมาอธิบายเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบออกกำลังกายแบบแกว่งแขนกับไม่แกว่งแขน มีเพียงจากรายงานวิจัยของ ชวรศักดิ์ พงษ์พานิช และคณะ ปี พ.ศ. 2558 ได้ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบแกว่งแขนย่อเท้าอยู่กับที่ (Spot brisk marching) ต่อการทำงานของระบบหายใจและอาการหอบเหนื่อย ในผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (Chronic Obstructive Pulmonary Disease: COPD) ที่มีระดับความรุนแรงของโรคปานกลางถึงมาก พบว่าการออกกำลังกายแบบแกว่งแขนย่อเท้าอยู่กับที่สามารถกระตุ้นให้เกิดความรู้สึกหอบเหนื่อยในระดับปานกลางถึงค่อนข้างมาก<sup>9</sup> และจากรายงานวิจัยของ วัชรภรณ์ กาวิผาและคณะ ปี พ.ศ. 2559 ได้ทำการศึกษาผลของการทดสอบการแกว่งแขนสูงย่อเท้าอยู่กับที่ 6 นาที (6 Minute Spot Marching Test: 6SMT) เปรียบเทียบกับการทดสอบเดิน 6 นาที (6 Minute Walk Test: 6MWT) ในผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังที่มีระดับความรุนแรงของโรคน้อยถึงปานกลาง พบว่า การทดสอบการแกว่งแขนสูงย่อเท้าอยู่กับที่ ทำให้เกิดการตอบสนองทางสรีรวิทยาของระบบหายใจและหัวใจประกอบด้วยอัตราการหายใจ และระดับความหอบเหนื่อยที่สูงกว่าการทดสอบเดิน 6 นาที แต่มีความหนักของการทำงานต่อหัวใจใกล้เคียงกันทั้งสองการทดสอบ โดยการวัดค่าอัตราการเต้นของหัวใจ<sup>10</sup> อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับอัตราการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกายแบบแกว่งแขนย่อเท้าอยู่กับที่เปรียบเทียบกับออกกำลังกายแบบไม่แกว่งแขนย่อเท้าอยู่กับที่ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร ซึ่งเป็นข้อมูลทางสรีรวิทยาในการนำไปอธิบายเกี่ยวกับวิธีการทดสอบความทนทานของ

ระบบทางเดินหายใจและหัวใจในผู้สูงอายุและผู้ป่วย เพื่อประเมินความสามารถในการออกกำลังกายหรือทำกิจกรรมทางกาย และเป็นข้อมูลวิจัยเบื้องต้นสำหรับการศึกษาต่อไปในอนาคต

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าอัตราการใช้ออกซิเจนระหว่างการทดสอบการออกกำลังกายแบบแอโรบิกแบบอยู่กับที่และไม่อยู่กับที่ในอาสาสมัครเพศชายสุขภาพดี

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### รูปแบบการศึกษา

รูปแบบการวิจัยเป็นการศึกษาเชิงวิเคราะห์ (Analytic Study) ในรูปแบบ Cross-over study design

#### กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มอาสาสมัครที่เข้าร่วมศึกษาในครั้งนี้ เป็นเพศชายสุขภาพดี อายุระหว่าง 20 – 25 ปี จำนวน 11 คน (คำนวณโดยกำหนดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation หรือ  $\sigma$ ) จากการศึกษาของ นิศรา และคณะ ในการศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการเต้นของหัวใจและระดับการหอบเหนื่อยกับความเร็วในการทดสอบออกกำลังกาย Sport marching พบว่าค่าประสิทธิผลความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการก้าวเท้าแอโรบิกอยู่กับที่กับอัตราการเต้นของหัวใจอยู่ที่ 0.98, ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (allowable error หรือ  $e$ ) เท่ากับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ระดับปานกลาง  $r = 0.5$  และกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ น้อยกว่า 0.05) อาศัยอยู่ภายในเขต อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ที่สมัครใจยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

#### เกณฑ์การคัดเข้าร่วมการศึกษา

1. เป็นเพศชายที่มีสุขภาพดี อายุระหว่าง 20 – 25 ปี
2. มีค่าดัชนีมวลกาย (BMI) ปกติ ระหว่าง 18.5-24.9 กิโลกรัมต่อตารางเมตร<sup>11</sup>
3. มีกิจกรรมทางกายอย่างน้อยอยู่ในระดับต่ำ ปานกลาง และสูง โดยประเมินจากการใช้แบบสอบถามสากลเรื่องกิจกรรมทางกายชุดสั้นฉบับภาษาไทย (The International Physical Activity Questionnaires (IPAQ) ShortForm)<sup>12</sup>

#### เกณฑ์การคัดออกจากการศึกษา

1. มีโรคประจำตัว ได้แก่ โรคหอบหืด โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคปอดอักเสบ โรคหัวใจ
2. มีประวัติประทุษร้ายเหตุรุนแรง เช่น กระดูกแขนและขาหัก
3. มีภาวะความดันโลหิตต่ำ โดย Systolic blood pressure ต่ำกว่า 90 มิลลิเมตรปรอท และ/หรือ Diastolic blood pressure ต่ำกว่า 60 มิลลิเมตรปรอทและความดันโลหิตสูง โดย Systolic blood pressure สูงกว่า 140 มิลลิเมตรปรอท และ/หรือ Diastolic blood pressure สูงกว่า 90 มิลลิเมตรปรอท ในขณะที่พัก<sup>13</sup>
4. มีประวัติได้รับสารหรือยาที่มีผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจก่อนเข้าร่วมการทดสอบสมรรถภาพทางกาย ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง เช่น ยาแก้หวัด และกาแฟ เป็นต้น<sup>14</sup>

### ขั้นตอนการวิจัย

ครั้งที่ 1 ให้อาสาสมัครอ่านข้อมูลคำอธิบายโครงการวิจัย อาสาสมัครสามารถสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมหรือข้อสงสัยจากผู้วิจัยก่อนลงนามในแบบฟอร์มยินยอมเข้าร่วมการวิจัย ซึ่งโครงการวิจัยได้ผ่านการพิจารณาและรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมเกี่ยวกับการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร เลขที่ 0327/60 วันที่ 30 กรกฎาคม 2560 จากนั้นให้อาสาสมัครกรอก

แบบสอบถามประวัติสุขภาพ และแบบสอบถามสากลเรื่องกิจกรรมทางกายชุดสั้นฉบับภาษาไทยเพื่อคัดกรองอาสาสมัคร ผู้วิจัยทำการอธิบายวัตถุประสงค์ของการวิจัยและวิธีปฏิบัติขณะเข้าร่วมการวิจัยให้อาสาสมัครทราบและปฏิบัติ ตรวจประเมินสัญญาณชีพ (Vital signs) ซึ่งประกอบด้วยความดันโลหิต อัตราการเต้นหัวใจ แล้วทำการทดสอบคุณลักษณะทางกายโดยการชั่งน้ำหนักตัว วัดส่วนสูง

ครั้งที่ 2 สุ่มลำดับเลือกอาสาสมัครด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Microsoft Excel 2010) อาสาสมัครแต่ละคนได้รับการทดสอบออกกำลังกายด้วยการแกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่ก่อน (6 คน) และไม่แกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่ก่อน (5 คน) ถ้าหากผู้วิจัยสุ่มให้อาสาสมัครทำการทดสอบออกกำลังกายด้วยการแกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่ ให้อาสาสมัครยืนพักนิ่งๆ เป็นระยะเวลา 10 นาที จากนั้น เริ่มให้อาสาสมัครยกแขนสูงมากกว่า 90 องศาพร้อมกับงอสะโพกมากกว่า 70 องศา ด้วยความเร็วที่อาสาสมัครสามารถออกกำลังกายได้อย่างต่อเนื่อง 6 นาที ขณะทดสอบให้อาสาสมัครหันหน้าเข้าหาผนังที่มีสัญลักษณ์ติดบนผนังเพื่อกำหนดระดับความสูงให้เหมาะสมกับแต่ละบุคคล ซึ่งติดสัญลักษณ์ที่ผนังในมุมไหล่ 90 องศา และมุมงอสะโพก 70 องศา โดยมีการส่งสัญญาณเตือนเมื่ออาสาสมัครไม่สามารถคงระดับของมุมไหล่มุมสะโพก แต่ถ้าหากอาสาสมัครถูกสุ่มให้ทำการทดสอบออกกำลังกายด้วยการย่ำเท้าอยู่กับที่โดยไม่แกว่งแขน ให้อาสาสมัครงอสะโพกมากกว่า 70 องศาและต้องไม่มีการแกว่งแขนแต่อย่างใด ด้วยความเร็วที่อาสาสมัครสามารถออกกำลังกายได้อย่างต่อเนื่อง 6 นาที ขณะทดสอบให้อาสาสมัครหันหน้าเข้าหาผนังที่มีสัญลักษณ์ติดบนผนังเพื่อกำหนดระดับความสูงให้เหมาะสมกับแต่ละบุคคล ซึ่งติดสัญลักษณ์ที่ผนังในมุมงอสะโพก 70 องศา โดยมีการส่งสัญญาณเตือนอาสาสมัครเมื่ออาสาสมัครไม่สามารถคงระดับของมุมสะโพก (ภาพที่ 1) โดยวัดอัตราการใช้ออกซิเจนด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซผ่านทางลมหายใจ (Cortex Biophysik, Metalyzer 3B, CORTEX Biophysik GmbH, Germany)<sup>15</sup> บันทึกข้อมูลหายใจเข้าออกทุกๆ ลมหายใจ (breath by breath) วัดอัตราการเต้นของหัวใจด้วยอุปกรณ์วัดอัตราการเต้นหัวใจแบบไร้สาย (Polar heart rate monitors, Finland) และจำนวนก้าวด้วยอุปกรณ์นับก้าว (OMRON HJ-325 Pedometer, The United States of America) ตลอดระยะเวลาของการทดสอบ

ครั้งที่ 3 ผู้วิจัยให้อาสาสมัครทำการทดสอบการออกกำลังกายที่ยังไม่ได้ทำในครั้งที่ 2 (cross-over) แล้วทำการบันทึกข้อมูล จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณ โดยค่าอัตราการใช้ออกซิเจนถูกประมวลผลเป็นค่าเฉลี่ยทุกๆ 1 วินาที (average data every 1 second) แล้วนำไปคำนวณค่าต่างๆ ประกอบด้วยค่าอัตราการใช้ออกซิเจนขณะพัก คำนวณจากค่าเฉลี่ยอัตราการใช้ออกซิเจนขณะพักช่วง 30 วินาทีสุดท้ายก่อนเริ่มทดสอบ ค่าผลรวมอัตราการใช้ออกซิเจน คำนวณจากผลรวมอัตราการใช้ออกซิเจนขณะทดสอบในช่วง 360 วินาที ลบด้วยค่าอัตราการใช้ออกซิเจนขณะพักของแต่ละคน ค่าอัตราการใช้ออกซิเจนช่วงสุดท้ายของการทดสอบ คำนวณจากค่าเฉลี่ยอัตราการใช้ออกซิเจนขณะทดสอบที่ 30 วินาทีสุดท้ายก่อนหยุดการทดสอบออกกำลังกาย สำหรับอัตราการเต้นของหัวใจช่วงสุดท้ายของการทดสอบ คำนวณจากค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจขณะทดสอบที่ 60 วินาทีสุดท้ายก่อนหยุดการทดสอบออกกำลังกาย

โดยแต่ละการทดสอบ ทำการทดสอบห่างกันอย่างน้อย 24 ชั่วโมง<sup>16</sup> และนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ





ภาพที่ 1 ภาพแสดงการทดสอบออกกำลังกายแบบแกว่งแขนย่อเท้าอยู่กับที่

### การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลจากการศึกษาวิจัยทั้งหมดประมวลผลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 17 โดยทดสอบการแจกแจงของข้อมูลด้วย Shapiro-Wilk test พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ดังนั้นข้อมูลจึงแสดงในรูปแบบของค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean  $\pm$  SD) และใช้สถิติเทียบรายคู่ (Paired t-test) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนขณะพัก ผลรวมอัตราการใช้ออกซิเจน อัตราการใช้ออกซิเจนช่วงสุดท้ายของการทดสอบ อัตราการเต้นของหัวใจช่วงสุดท้ายของการทดสอบ และจำนวนก้าวระหว่างสองการทดสอบ กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ  $P < 0.05$

### ผลการวิจัย

คุณลักษณะทางกายของอาสาสมัครประกอบด้วยอายุ ส่วนสูง น้ำหนัก และดัชนีมวลกาย มีค่าเท่ากับ  $21.6 \pm 1.3$  ปี,  $171.8 \pm 7.2$  เซนติเมตร,  $66.3 \pm 5.3$  กิโลกรัม และ  $22.4 \pm 1.2$  กิโลกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ สำหรับระดับกิจกรรมทางกายของอาสาสมัคร ประเมินจากการใช้แบบสอบถามสากลเรื่องกิจกรรมทางกายชุดสั้นฉบับภาษาไทย พบว่าอาสาสมัครมีระดับกิจกรรมทางกายระดับปานกลาง จำนวน 8 คน และระดับสูง จำนวน 3 คน ส่วนสัญญาณชีพ ได้แก่ ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว และอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักของอาสาสมัคร มีค่าเท่ากับ  $113 \pm 8$  มิลลิเมตรปรอท,  $72 \pm 6$  มิลลิเมตรปรอท และ  $97 \pm 10$  ครั้งต่อนาที ตามลำดับ ซึ่งค่าสัญญาณชีพอยู่ในเกณฑ์ปกติ (ตารางที่ 1)

ในการเปรียบเทียบค่าอัตราการใช้ออกซิเจนขณะพัก ผลรวมอัตราการใช้ออกซิเจน อัตราการใช้ออกซิเจนช่วงสุดท้ายของการทดสอบ อัตราการเต้นของหัวใจช่วงสุดท้ายของการทดสอบ และจำนวนก้าวระหว่างการทดสอบการออกกำลังกายแบบแกว่งแขนย่อเท้าอยู่กับที่และการทดสอบการออกกำลังกายแบบไม่แกว่งแขนย่อเท้าอยู่กับที่ การศึกษานี้พบว่าค่าอัตราการใช้ออกซิเจนขณะพัก ผลรวมอัตราการใช้ออกซิเจน อัตราการใช้ออกซิเจนช่วงสุดท้ายของการทดสอบ อัตราการเต้นของหัวใจช่วงสุดท้ายของการทดสอบการออกกำลังกายด้วยการแกว่งแขนย่อเท้าอยู่กับที่และจำนวนก้าว มีค่าเท่ากับ  $0.34 \pm 0.06$  ลิตรต่อนาที,  $787.7 \pm 108.9$  ลิตร,  $2.43 \pm 0.09$  ลิตรต่อนาที,  $187 \pm 12$  ครั้งต่อนาที และ  $728 \pm 54$  ก้าว ตามลำดับ หลังการทดสอบการออกกำลังกายแบบไม่แกว่งแขนย่อเท้าอยู่กับที่ มีค่าเท่ากับ  $0.35 \pm 0.05$  ลิตรต่อนาที,  $717.6 \pm 94.9$  ลิตร,  $2.29 \pm 0.09$  ลิตรต่อนาที,

183 ± 12 ครั้งต่อนาที และ 737 ± 55 ก้าว ตามลำดับ ซึ่งพบว่าการทดสอบการออกกำลังกายแบบแกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่ มีค่าผลรวมอัตราการใช้ออกซิเจน อัตราการใช้ออกซิเจนช่วงสุดท้ายของการทดสอบ อัตราการเต้นของหัวใจช่วงสุดท้ายของการทดสอบมีค่ามากกว่าการทดสอบการออกกำลังกายแบบไม่แกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P = 0.001$ , 0.019 และ 0.002 ตามลำดับ) แต่ค่าอัตราการใช้ออกซิเจนขณะพัก และจำนวนก้าวระหว่างการทดสอบการออกกำลังกายแบบแกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่และการทดสอบการออกกำลังกายแบบไม่แกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 แสดงคุณลักษณะทางกายและสัญญาณชีพของอาสาสมัคร

| ตัวแปร                                      | ค่าที่วัดได้ |
|---------------------------------------------|--------------|
| อายุ (ปี)                                   | 21.6 ± 1.3   |
| ส่วนสูง (เซนติเมตร)                         | 171.8 ± 7.2  |
| น้ำหนัก (กิโลกรัม)                          | 66.3 ± 5.3   |
| ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)          | 22.4 ± 1.2   |
| ระดับกิจกรรมทางกาย (คน)                     |              |
| - ปานกลาง                                   | 8            |
| - สูง                                       | 3            |
| ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (มิลลิเมตรปรอท)  | 113 ± 8      |
| ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (มิลลิเมตรปรอท) | 72 ± 6       |
| อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้งต่อนาที)   | 97 ± 10      |

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าอัตราการใช้ออกซิเจนขณะพัก ผลรวมอัตราการใช้ออกซิเจน อัตราการใช้ออกซิเจนช่วงสุดท้ายของการทดสอบ อัตราการเต้นของหัวใจช่วงสุดท้ายของการทดสอบ และจำนวนก้าว ระหว่างการทดสอบการออกกำลังกายแบบแกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่และไม่แกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่

| ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา                                    | การทดสอบการออกกำลังกายแบบแกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่ (Mean±SD) | การทดสอบการออกกำลังกายแบบไม่แกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่ (Mean±SD) | P-value |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------|
| อัตราการใช้ออกซิเจนขณะพัก (ลิตรต่อนาที)                   | 0.34 ± 0.06                                                  | 0.35 ± 0.05                                                     | 0.595   |
| ผลรวมอัตราการใช้ออกซิเจน (ลิตร)                           | 787.7 ± 108.9                                                | 717.6 ± 94.9                                                    | 0.001*  |
| อัตราการใช้ออกซิเจนช่วงสุดท้ายของการทดสอบ (ลิตรต่อนาที)   | 2.43 ± 0.09                                                  | 2.29 ± 0.09                                                     | 0.019*  |
| อัตราการเต้นของหัวใจช่วงสุดท้ายของการทดสอบ (ครั้งต่อนาที) | 187 ± 12                                                     | 183 ± 12                                                        | 0.002*  |
| จำนวนก้าว (ก้าว)                                          | 728 ± 54                                                     | 737 ± 55                                                        | 0.729   |

\* แตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p value < 0.05



## อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบค่าอัตราการใช้ออกซิเจนระหว่างการทดสอบการออกกำลังกายแบบแกว่งแขนยาวทำอยู่กับที่และไม่แกว่งแขนยาวทำอยู่กับที่ในเพศชายสุขภาพดี อายุระหว่าง 20-25 ปี จำนวน 11 คน โดยพิจารณาจากตัวแปรประกอบด้วยผลรวมอัตราการใช้ออกซิเจน อัตราการใช้ออกซิเจน และอัตราการเต้นของหัวใจในขณะทดสอบออกกำลังกาย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบค่าอัตราการใช้ออกซิเจนระหว่างการทดสอบการออกกำลังกายแบบแกว่งแขนยาวทำอยู่กับที่และการทดสอบการออกกำลังกายแบบไม่แกว่งแขนยาวทำอยู่กับที่ ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา ยังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบค่าอัตราการใช้ออกซิเจนของการทดสอบออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบในลักษณะเดียวกัน แต่มีการศึกษาที่คล้ายคลึงกับการศึกษานี้ โดยจากการศึกษาของ Jerry และคณะ ปี ค.ศ. 2001 ได้ทำการศึกษาอัตราการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการทำงานของแขนร่วมกับขาโดยการปั่นจักรยานอยู่กับที่ พบว่าการออกกำลังกายด้วยการทำงานของแขนร่วมกับขา มีค่าอัตราการใช้ออกซิเจนมากกว่าการออกกำลังกายด้วยการทำงานของขาเพียงอย่างเดียว<sup>17</sup> นอกจากนี้ ในปี ค.ศ. 1983 Michael และคณะ ได้ศึกษาการตอบสนองของระบบหัวใจและปอดในขณะออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยานแขนและขา พบว่า การออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยานแขนมีอัตราการใช้ออกซิเจนสูงกว่าการปั่นจักรยานขา<sup>18</sup> Martin และคณะ ปี ค.ศ. 1996 ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบอัตราการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการทำงานของแขนร่วมกับขาและการออกกำลังกายด้วยการทำงานของขาเพียงอย่างเดียวโดยการปั่นจักรยานอยู่กับที่ พบว่า อัตราการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกายด้วยการทำงานของแขนร่วมกับขา มีค่ามากกว่าการออกกำลังกายด้วยขาเพียงอย่างเดียว อาจเป็นเพราะว่าการออกกำลังกายแขนและขา มีการใช้กล้ามเนื้อเนื้อที่มากกว่าการออกกำลังกายด้วยการทำงานของขาเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ ในขณะปั่นจักรยานแขนร่วมกับขา อาสาสมัครจำเป็นต้องทรงตัวให้ตั้งตรงตลอดเวลา จึงทำให้กล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวต้องทำงานเพื่อทรงตัวทางในขณะออกกำลังกาย<sup>19</sup> ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับผลการศึกษาที่ผ่านมาคือ อัตราการใช้ออกซิเจนในการทดสอบการออกกำลังกายแบบยาวทำอยู่กับที่ร่วมกับการยกแขนและขาสูงมากกว่าการยาวทำเพียงอย่างเดียว อาจสามารถอธิบายได้ว่า อาจจะมีการทำงานของกลุ่มกล้ามเนื้อเนื้อที่มากกว่าการยาวทำเพียงอย่างเดียว ซึ่งได้แก่ กล้ามเนื้อของแขนที่ใช้ในการแกว่งขณะออกกำลังกาย และกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวที่จะต้องทรงตัวให้ตั้งตรงตลอดการออกกำลังกาย

เมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราการเต้นของหัวใจช่วงสุดท้ายของการทดสอบการออกกำลังกายทั้งสองแบบ พบว่าการทดสอบการออกกำลังกายแบบแกว่งแขนยาวทำอยู่กับที่มีค่าอัตราการเต้นของหัวใจช่วงสุดท้ายของการทดสอบมากกว่าการทดสอบการออกกำลังกายแบบไม่แกว่งแขนยาวทำอยู่กับที่ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่  $187 \pm 12$  ครั้งต่อนาที และ  $183 \pm 12$  ครั้งต่อนาที ตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า การทดสอบการออกกำลังกายแบบแกว่งแขนยาวทำอยู่กับที่สามารถเพิ่มอัตราการใช้ออกซิเจนและมีความสัมพันธ์กับอัตราการเต้นของหัวใจ โดยอัตราการใช้ออกซิเจนสัมพันธ์กับการเพิ่มปริมาณเลือดที่สูบฉีดออกจากหัวใจและขนส่งเลือดไปยังกล้ามเนื้อขณะทำการทดสอบการออกกำลังกาย แสดงให้เห็นว่าอัตราการใช้ออกซิเจนที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย<sup>15,20</sup> สอดคล้องกับการศึกษาของ Lewis และคณะ ปี ค.ศ. 1983 ซึ่งกล่าวว่าอัตราการใช้ออกซิเจนและอัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นตามจำนวนกล้ามเนื้อที่ใช้งานขณะทดสอบการออกกำลังกาย โดยการทดสอบการออกกำลังกายแบบแกว่งแขนยาวทำอยู่กับที่เป็นการออกกำลังกายทั้งกล้ามเนื้อแขนและขาจึงสามารถทำให้มีอัตราการเต้นของหัวใจมากกว่าการทดสอบการออกกำลังกายแบบไม่แกว่งแขนยาวทำอยู่กับที่ซึ่งใช้กล้ามเนื้อขาเพียงอย่างเดียว<sup>21</sup> และจากการศึกษาของ Astrand and Rodahl ปี ค.ศ. 1977 ได้กล่าวว่า ในคนปกติ อัตราการเต้นของหัวใจแปรผันตรงกับอัตราการใช้ออกซิเจนในการทำงานหนักระดับต่ำกว่าสูงสุด<sup>22</sup>

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนก้าวระหว่างการทดสอบการออกกำลังกายแบบแกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่และไม่แกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง  $728 \pm 54$  ก้าว (ความเร็วเฉลี่ย 121 ก้าวต่อนาที) และ  $737 \pm 55$  ก้าว (ความเร็วเฉลี่ย 123 ก้าวต่อนาที) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าความเร็วในการก้าวนั้นไม่แตกต่างกันซึ่งแสดงให้เห็นถึงระดับความหนักของการทดสอบการออกกำลังกายทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาของ Nagle และคณะ ปี ค.ศ. 1984 เกี่ยวกับอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดของการออกกำลังกายด้วยการทำงานของแขนร่วมกับขาเปรียบเทียบกับ การออกกำลังกายด้วยขาหรือแขนเพียงอย่างเดียว โดยกำหนดระดับความหนักของการออกกำลังกายเท่ากัน พบว่า การออกกำลังกายร่วมกันของแขนและขามีอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดมากกว่าการออกกำลังกายด้วยขาเพียงอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ที่ทำการทดสอบออกกำลังกายด้วยความหนักเท่ากันทั้งสองการทดสอบ<sup>25</sup> แต่แนวโน้มจำนวนก้าวของการทดสอบการออกกำลังกายไม่แกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่มากกว่าแกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่ ซึ่งการทดสอบการออกกำลังกายแบบแกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่เป็นการทำงานแบบภาระงานคู่ (Dual-task) อาจอธิบายได้ว่า การแกว่งของแขนร่วมด้วยทำให้ลำตัวต้องทรงท่าทางมากขึ้น ภาระงานที่เพิ่มขึ้นทำให้ต้องมุ่งเน้นความสนใจไปที่หลายส่วน และอาจมีการจำกัดความสนใจของอาสาสมัคร ในขณะที่แกว่งแขนพร้อมกับย่ำเท้า ส่งผลให้ประสิทธิภาพของงานใดงานหนึ่งลดลง ซึ่งอาจทำให้ความเร็วในการก้าวลดลงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบการออกกำลังกายแบบไม่แกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่ซึ่งเป็นการทำงานแบบภาระงานเดี่ยว (Single-task)<sup>26,27</sup> อาสาสมัครจำนวน 11 คนมีระดับกิจกรรมทางกายอยู่ที่ระดับสูง 3 คน และระดับปานกลาง 8 คน ซึ่งกิจกรรมทางกายมีผลต่ออัตราการใช้ออกซิเจน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของร่างกายหรือสมรรถภาพทางกาย McCurdy ปี ค.ศ. 2015 กล่าวว่าผู้ที่มีการออกกำลังกายระดับสูงหรือนักกีฬามีอัตราการใช้ออกซิเจนมากกว่าคนที่มีการออกกำลังกายน้อย<sup>23</sup> และการศึกษาของ Cheng และคณะ ปี ค.ศ. 2003 กล่าวว่าคนที่มีการออกกำลังกายในระดับสูงมีสมรรถภาพของระบบหัวใจและปอดดีกว่าคนที่มีการออกกำลังกายน้อย<sup>24</sup> การทดสอบสมรรถภาพทางกายด้วยการแกว่งแขนสูงพร้อมกับย่ำเท้าอยู่กับที่นี้ มีการเคลื่อนไหวที่คล้ายคลึงกับการทำกิจกรรมทางกายในชีวิตประจำวัน เช่นการวิ่ง การขึ้นบันได เป็นต้น ทำให้สามารถใช้ผลการทดสอบนี้ในการประเมินสมรรถภาพหัวใจและปอดในการทำกิจกรรมที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันได้ ใช้การทดสอบนี้กับผู้ที่ถูกทดสอบที่มีสมรรถภาพทุกระดับ ไม่ว่าจะมีการทำกิจกรรมระดับต่ำหรือมีกิจกรรมทางกายที่สูง อีกทั้งเป็นการทดสอบที่ง่าย สะดวก ไม่พึ่งอุปกรณ์ ใช้พื้นที่น้อย ซึ่งนักกายภาพบำบัดหรือนักวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายสามารถนำไปใช้ในการประเมินและฟื้นฟูสมรรถภาพทางกายในผู้สูงอายุหรือผู้ป่วยในชุมชนได้ ดังการศึกษาการทดสอบสมรรถภาพทางกายด้วยวิธี Spot Marching exercise ในผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังที่ผ่านมา โดยซจรศักดิ์ พงษ์พานิช และคณะ ปี พ.ศ. 2558 ได้ทำการศึกษาผลของการทดสอบการออกกำลังกายแบบแกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่ต่อการทำงานของระบบหายใจและอาการหอบเหนื่อย ในผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง ผลการศึกษาพบว่าการทดสอบการออกกำลังกายแบบแกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่สามารถกระตุ้นให้เกิดความรู้สึกหอบเหนื่อยในระดับปานกลางถึงค่อนข้างมาก<sup>9</sup> และงานศึกษาวิจัยของ วัชรภรณ์ กาวีมาบ และคณะ ปี พ.ศ. 2559 ได้ทำการศึกษาผลของการทดสอบการแกว่งแขนสูงย่ำเท้าอยู่กับที่ 6 นาที เปรียบเทียบกับการทดสอบเดิน 6 นาที ในผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง พบว่าการทดสอบการแกว่งแขนสูงย่ำเท้าอยู่กับที่ทำให้เกิดการตอบสนองทางสรีรวิทยาของระบบหายใจและหัวใจและระดับความหอบเหนื่อยที่สูงกว่าการทดสอบเดิน 6 นาที แต่มีความหนักของการทำงานต่อหัวใจใกล้เคียงกันในทั้งสองการทดสอบ<sup>10</sup> อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการศึกษาค่าการตอบสนองอัตราใช้ออกซิเจนของการทดสอบการออกกำลังกายแบบแกว่งแขนย่ำเท้าอยู่กับที่ในผู้สูงอายุหรือผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง ซึ่งควรทำการศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคต อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของการศึกษานี้คือ ไม่สามารถทำการวัดค่า Cardiac output เพื่อดูปริมาตรของเลือดที่ถูกสูบฉีดออกจากหัวใจ และค่า Arteriovenous oxygen difference ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณออกซิเจนที่ถูกกล้ามเนื้อดึงเอาไปใช้ขณะทดสอบออกกำลังกาย ซึ่งต้องทำการศึกษาต่อไปในอนาคต

## สรุปผลการวิจัย

สรุปได้ว่า การทดสอบการออกกำลังกายแบบแกว่งแขนช้าเท่าอยู่กับที่มีอัตราการใช้ออกซิเจนมากกว่าการทดสอบการออกกำลังกายแบบไม่แกว่งแขนช้าเท่าอยู่กับที่

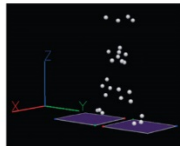
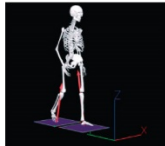
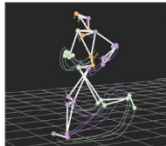
## เอกสารอ้างอิง

1. Tanner RK, Gore CJ. Physiological Tests for Elite Athletes. 2<sup>nd</sup> ed. Human Kinetics. 2013.
2. Kasikcioglu E, Toker A, Tanju S, Arzuman P, Kayserilioglu A, Dilege S, Kalayci G. Oxygen uptake kinetics during cardiopulmonary exercise testing and postoperative complications in patients with lung cancer. Lung Cancer. 2009 Oct 31;66(1):85-8.
3. Burnside WS, Snowden C. Physiological basis of preoperative cardiopulmonary exercise testing. Surgery (Oxford). 2014 Feb 28;32(2):59-62.
4. Asplund G. A submaximal test for arm ergometry to determine peak oxygen uptake rate in upper body exercise (Thesis). San Jose State University. 1995.
5. American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2013 Mar 4.
6. Eston RG, Brodie DA. Responses to arm and leg ergometry. Br J Sports Med. 1986 Mar 1;20(1):4-6.
7. Di Blasio A, Sablone A, Civino P, D'Angelo E, Gallina S, Ripari P. Arm vs. combined leg and arm exercise: blood pressure responses and ratings of perceived exertion at the same indirectly determined heart rate. J Sports Sci Med. 2009 Sep;8(3):401-409.
8. Polen ZK, Joshi S. Comparison of treadmill versus cycle ergometer training on functional exercise capacity in normal individuals. Int J Cur Res Rev. 2014 Oct 15;6(20):61-65.
9. Pongpanit K, Jones CU, Jones DA, Boonsawat W. Positive Expiratory Pressure Breathing Increases the Recovery of Dyspnea in Patients with COPD. Thai J Phys Ther. 2015;37(1):1-13.
10. Kaveephap W, Phimpasak C, Chaisuksan S, Jones C. A new cardiopulmonary exercise test for chronic obstructive pulmonary disease patients. Thai J Phys Ther. 2016; (1): 72-7.
11. Kerdjunteak S., et al. Physical fitness norm of Thai populations. Bangkok: New Thai Mirth Printing house; 2543.
12. Rattanawiwatpong P, Khunphasee A, Pongurgsorn C, Intarakamhang P. Validity and reliability of the Thai version of short format International Physical Activity Questionnaire (IPAQ). J Thai Rehabil. 2006; 16(3):147-60.
13. Shaikh ZA, Khatoon F, Nankani K, Kumar D. Yield of Screening for Blood Pressure of Employees in a Medical University at Karachi. Gomal J Med Sci. 2010; 8(2):156-160.
14. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance: Lippincott Williams & Wilkins; 2010.

15. Roston WL, Whipp BJ, Davis JA, Cunningham DA, Effros RM, Wasserman K. Oxygen uptake kinetics and lactate concentration during exercise in humans. *Am Rev Respir Dis*. 1987; 135(5):1080-4.
16. Wiewelhove T, Fernandez-Fernandez J, Raeder C, Kappenstein J, Meyer T, Kellmann M, et al. Acute responses and muscle damage in different high-intensity interval running protocols. *J Sports Med Phys Fitness*. 2016; 56(5):606-15.
17. Mayo JJ, Kravitz L, Wongsathitkun J. Detecting the onset of added cardiovascular strain during combined arm and leg exercise. *J Exerc Physiol Online*. 2001 Aug 1;4(3):53-60.
18. Toner MM, Sawka MN, Levine LE, Pandolf KB. Cardiorespiratory responses to exercise distributed between the upper and lower body. *J Appl Physiol*. 1983 May 1;54(5):1403-7.
19. Hoffman MD, Kassay KM, Zeni AI, Clifford PS. Does the amount of exercising muscle alter the aerobic demand of dynamic exercise?. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1996 Dec 1;74(6):541-7.
20. Powers S, Howley ET. Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance. McGraw-Hill Higher Education; 2014.
21. Lewis SF, Taylor WF, Graham RM, Pettinger WA, Schutte JE, Blomqvist CG. Cardiovascular responses to exercise as functions of absolute and relative work load. *J Appl Physiol*. 1983 May 1;54(5):1314-23.
22. Astrand PO, Rodhal K. Textbook of Work Physiology. New York: McGraw Hill; 1997.
23. McCurdy T. Physiological parameters and physical activity data for evaluating exposure modeling performance: A synthesis. Washington: U.S. Environmental Protection Agency; 2015.
24. Cheng YJ, Macera CA, Addy CL, Sy FS, Wieland D, Blair SN. Effects of physical activity on exercise tests and respiratory function. *Br J Sports Med*. 2003 Dec 1;37(6):521-8.
25. Nagle FJ, Richie JP, Giese MD. VO<sub>2</sub>max responses in separate and combined arm and leg air-braked ergometer exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 1984 Dec;16(6):563-6.
26. Verhoeff LL, Horlings CG, Janssen LJ, Bridenbaugh SA, Allum JH. Effects of biofeedback on trunk sway during dual tasking in the healthy young and elderly. *Gait Posture*. 2009 Jul 31;30(1):76-81.
27. Beauchet O, Dubost V, Herrmann FR, Kressig RW. Stride-to-stride variability while backward counting among healthy young adults. *J Neuroeng Rehabil*. 2005 Dec 1;2(1):26.

**QUALISYS**  
Motion Capture Systems

Oqus Camera Series:  
Oqus MRI, MiQus, Oqus Underwater



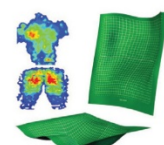
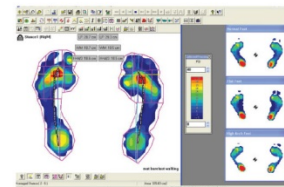
**BIODEX**



Neuromuscular evaluation & therapeutic exercise



Excellence in wireless EMG system solution **cometa**



Insole Plantar Pressure Analysis: Barefoot Pressure  
Analysis: Seating & Positioning Pressure Analysis

**Tekscan**

**United BMEC**  
Professionals Who Care

United BMEC (Thai) Co., Ltd.  
163 Thai Samut Building, 3rd floor, Room 3D, Surawongse rd.,  
Suriyawongse, Bangkok 10500 Tel. 02-2353358  
Contact person: Piyachat Sutthajinda 092-0237784